

(рис. 2, в). При менее развитой естественной конвекции перегрев воды увеличится, следовательно, будут возникать более крупные пузыри пара, расход перекачиваемой воды увеличится. При испытаниях для создания кольцевого канала в трубке 8 (внутренним диаметром 12 мм) использовался стержень 9 (длиной 200 мм и диаметром 6 мм). На рис. 3 представлены полученные в результате испытаний зависимости расхода перекачиваемой воды от подводимой мощности при высоте подъема воды 55 см и длине трубки 65 см для установок с узким кольцевым каналом и цилиндрическим каналом.

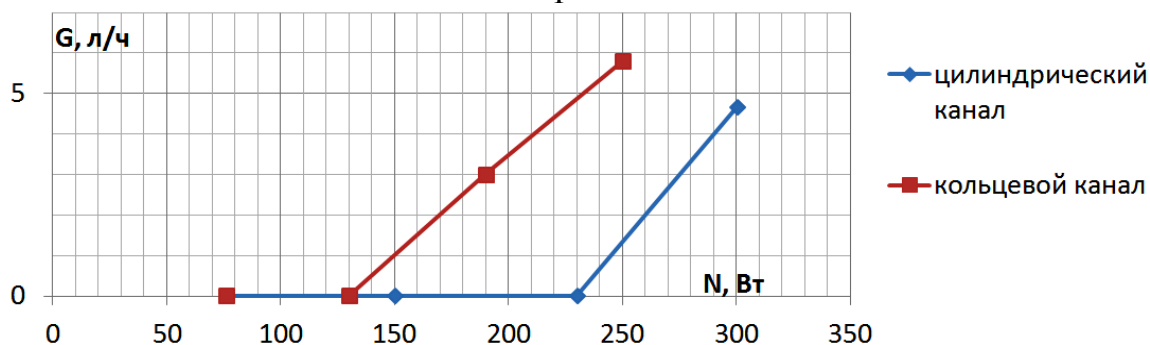


Рис. 3. Исследование эффективности использования штывря

Как видно из рис. 3, при использовании узкого кольцевого канала для подавления естественной конвекции перекачивание воды начинается при меньшей подводимой мощности, расход воды увеличивается.

Таким образом, в результате исследований выявлены изменения в конструкции жидкопоршневого пузырькового насоса, позволяющие увеличить его производительность.

Список литературы

1. Щеклеин С. Е., Костомаров В. М. О механизме образования парового снаряда в узком канале без принудительной циркуляции // Теплофизика высоких температур. 1982. № 6. Т. 20. С. 1203–1205.

УДК 621.311.26

Никитин А. Д., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
studentshurik@gmail.com

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ДИЗЕЛЬ-ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Значительную долю в стоимости фотоэлектрической станции (ФЭС) занимают аккумуляторные батареи (АКБ). Если использовать совместно с ФЭС дизельный генератор (ДГ) для покрытия нагрузки при недостаточной выработке энергии ФЭС, то необходимость в большом числе АКБ отпадает и стоимость электростанции снижается. В свою очередь, в расходах на ДГ значительную часть занимает стоимость топлива. ФЭС топлива не потребляет, и при достаточном приходе солнечной радиации вырабатываемая ФЭС электроэнергия бу-

дет дешевле, чем энергия, производимая ДГ. Таким образом, использование ФЭС совместно с ДГ позволяет создать гибридную электростанцию, стоимость производимой электроэнергии на которой будет ниже стоимости энергии, производимой только за счет энергии Солнца на ФЭС или только за счет сжигания топлива на ДГ. Кроме этого, использование АКБ для выравнивания графика потребляемой мощности позволит ДГ работать в стационарном режиме, в результате чего увеличатся эффективность и ресурс ДГ. Схема гибридной станции изображена на рис. 1.

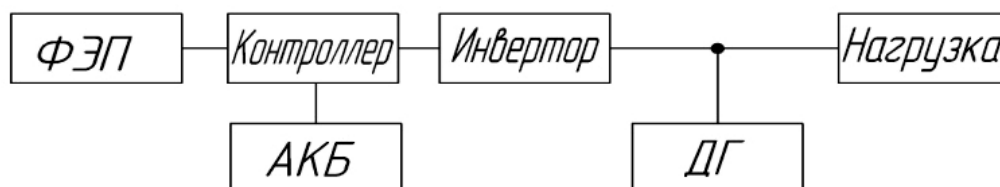


Рис. 1. Схема гибридной станции
(ФЭС совместно с ДГ)

В качестве примера рассчитана гибридная станция для нагрузки, расположенная в Якутске и имеющая суточное потребление электроэнергии $W = 8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ и максимальную мощность $N = 1 \text{ кВт}$ (что соответствует квартире или небольшому дому). Широта г. Якутск $62^{\circ}02' \text{ с.ш.}$

При расчете гибридной станции прежде всего необходимо установить, целесообразно ли использовать ФЭС в данной местности. Для этого нужно провести расчет стоимости электроэнергии, производимой в течение каждого месяца работы ФЭС, в состав которой входит минимальное число АКБ, и расчет стоимости электроэнергии, вырабатываемой ДГ. Если стоимость электроэнергии, полученной на ФЭС, ниже стоимости электроэнергии от ДГ, то применение ФЭС целесообразно. В таком случае число фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и АКБ для гибридной станции определяется по варианту ФЭС для того месяца, в котором среднегодовая стоимость электроэнергии гибридной станции минимальна.

В составе ФЭС целесообразно иметь АКБ такой емкости, которая позволит сгладить неравномерность между суточным приходом солнечной радиации и потреблением электроэнергии. Для определения емкости АКБ необходимо сопоставить график нагрузки, для которой проектируется гибридная станция, и суточный график выработки электроэнергии ФЭС. На рис. 2 изображены типичный график нагрузки и типичные суточные графики прихода солнечной радиации в летний и зимний дни для широты г. Якутск. Все значения нормированы относительно графика нагрузки (то есть площадь под кривой всех графиков, которая равна суточному энергопотреблению, совпадает).

Энергия, которую необходимо запасти в АКБ, равняется разности между вырабатываемой и потребляемой энергией, на графике это – площадь между кривой выработки мощности ФЭС и кривой потребления мощности нагрузкой.

Отношение энергии, запасаемой в АКБ, к суммарному суточному потреблению энергии можно назвать коэффициентом неравномерности потребления энергии. Для графика, изображенного на рис. 2, коэффициент неравномерности

для летнего периода $k_{\text{неравн л}} = 0,3$; для зимнего периода $k_{\text{неравн з}} = 0,7$. Для весеннего и осеннего периодов можно принять среднее значение $k_{\text{неравн в}} = k_{\text{неравн ос}} = 0,5$.

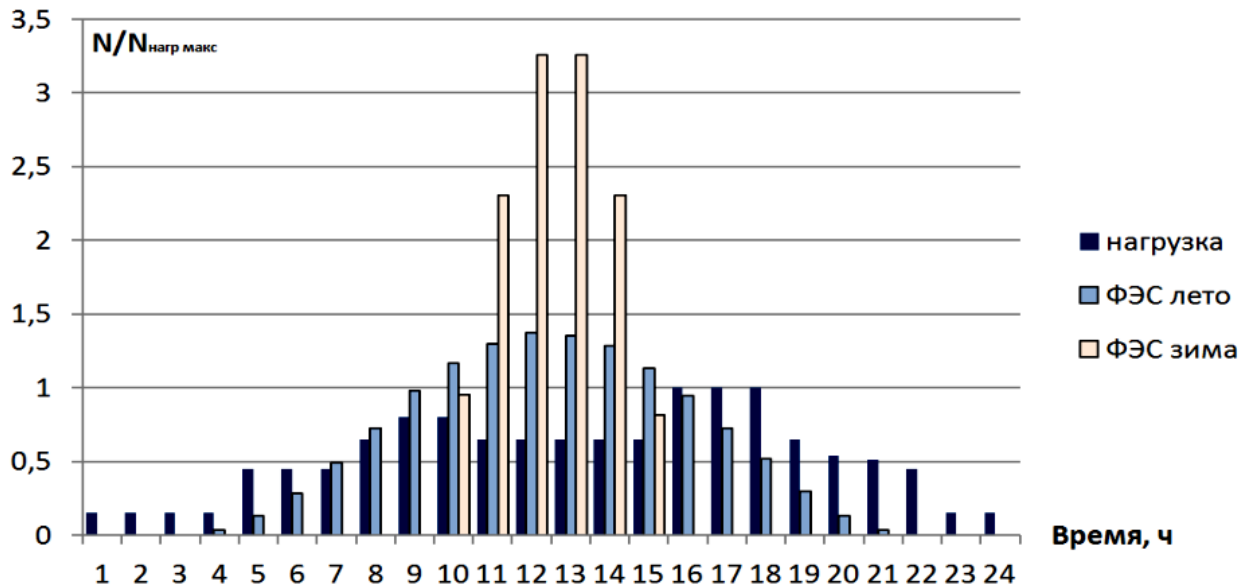


Рис. 2. Суточные графики потребления и выработки мощности

Таким образом, при заданном энергопотреблении нагрузки емкость АКБ вычисляется по формуле

$$C_{\text{акб}} = \frac{Wk_{\text{неравн}}}{\eta_{\text{инв}} k_{\text{разр}} U_{\text{акб}}}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{инв}}$ — коэффициент полезного действия (КПД) инвертора, $k_{\text{разр}}$ — степень разряда АКБ (принималась равной 50 %); $U_{\text{акб}}$ — напряжение АКБ.

Число АКБ вычисляется по формуле

$$n_{\text{акб}} = \frac{U_{\text{фэс}} C_{\text{акб}}}{C_{\text{ак}} U_{\text{акб}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{фэс}}$ — напряжение ФЭС; $C_{\text{ак}}$ — емкость одного аккумулятора.

Число ФЭП определяется следующим образом:

$$n_{\text{фэп}} = \frac{W}{J_i \eta_{\text{инв}} \eta_{\text{фэп}} S_{\text{фэп}} (1 - k_{\text{пот акб}} k_{\text{неравн}})}, \quad (3)$$

где J_i — среднесуточный приход солнечной радиации в i -й месяц; $\eta_{\text{фэп}}$ — КПД ФЭП; $S_{\text{фэп}}$ — площадь ФЭП; $k_{\text{пот акб}}$ — коэффициент, учитывающий потери в АКБ (принимался равным 10 %).

После расчета оборудования вариантов ФЭС для каждого месяца определяется стоимость электроэнергии, вырабатываемой каждым вариантом ФЭС. Стоимость складывается из издержек на амортизацию оборудования (в течение срока службы необходимо накопить средства на закупку нового оборудования) и издержек на ремонт ФЭС (принимались равными 10 % от издержек на амортизацию ФЭС). Для проектируемой ФЭС стоимость электроэнергии изменялась от 4,05 р./(кВт·ч) (вариант для июня) до 24,15 р./(кВт·ч) (вариант для декабря).

Затем рассчитывается стоимость электроэнергии, вырабатываемой ДГ. Она состоит из издержек на амортизацию, издержек на обслуживание и ремонт и затрат на дизельное топливо с учетом его доставки и хранения. В данном примере стоимость электроэнергии от ДГ составила 18,19 р./(кВт·ч).

Поскольку для проектируемой гибридной станции стоимость электроэнергии, вырабатываемой ФЭС, ниже стоимости электроэнергии, получаемой от ДГ, то использование ФЭС совместно с ДГ целесообразно.

Для определения оптимального числа ФЭП, АКБ и контроллеров необходимо рассчитать стоимость электроэнергии, производимой гибридной системой, для каждого варианта ФЭС.

Суточные затраты для гибридной станции складываются из суточных затрат ФЭС и суточных затрат ДГ. Затраты ФЭС для каждого варианта гибридной системы не зависят от выработки электроэнергии ФЭС и остаются постоянными в течение года. Затраты ДГ зависят от количества электроэнергии, произведенного ДГ для каждого варианта гибридной системы. ДГ вырабатывает электроэнергию только при недостаточной выработке ФЭС. При расчете количества электроэнергии, выработанной ДГ, сначала рассчитывается количество энергии, произведенное ФЭС, затем вычисляется разность между суточным потреблением электроэнергии и количеством, выработанным на ФЭС (если оно меньше суточного потребления). Затраты ДГ вычисляются как произведение количества выработанной энергии на ДГ на стоимость ее производства.

Стоимость производимой на гибридной станции электроэнергии рассчитывается с учетом дней без солнца. Для каждого месяца к сумме суточных затрат, рассчитанной по вышеописанной методике, прибавляются затраты на выработку электроэнергии ДГ в дни без солнца, рассчитанные как произведение суточного потребления электроэнергии на стоимость производства электроэнергии на ДГ и на число дней без солнца. Затем месячные затраты делятся на месячное количество произведенной электроэнергии и получается месячная стоимость электроэнергии для каждого варианта гибридной станции. По этим значениям вычисляется среднегодовая стоимость электроэнергии для каждого варианта.

В результате расчетов наименьшая среднегодовая стоимость электроэнергии для гибридной станции получилась при варианте ФЭС для сентября и составила 11,93 р./(кВт·ч) (в 1,5 раза меньше стоимости для ДГ). Капитальные вложения для гибридной станции составили 259 тыс. р. Срок окупаемости гибридной станции по отношению к ДГ составил 11 лет (при расчетах срок службы ДГ составил 13 лет). Выгода в данном случае составит 48 тыс. р, что соответствует 85 % капитальных вложений для ДГ или 18 % вложений для гибридной станции.

Таким образом, для г. Якутск использование ФЭС совместно с ДГ является выгодным. Поэтому целесообразна модернизация дизельных электростанций путем параллельного подключения к ним ФЭС оптимальной мощности.